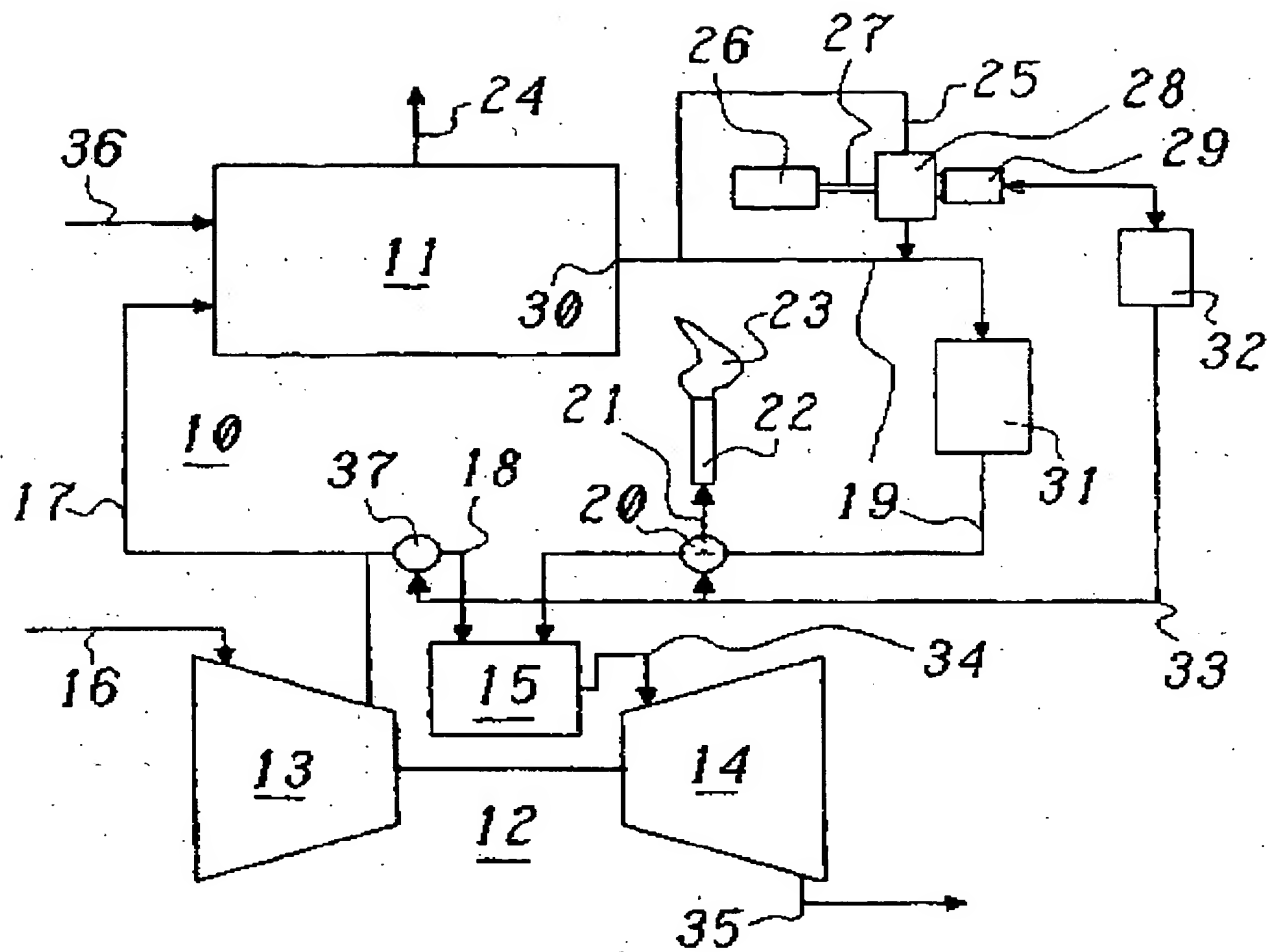


AN: PAT 2001-017389  
TI: Method for operating gas turbine, involves determining calorific value of gas prior to combustion to control combustion chamber at constant temperature  
PN: **DE19921981-A1**  
PD: 16.11.2000  
AB: NOVELTY - A sample of the hot waste gas from a chemical process is bled off to a measurement cell radiated with light. The relative concentrations of the main constituents of the gas are measured based on the Raman scatter of their molecules, derived from the spectral distribution obtained from a spectrograph. This enables the fluctuating calorific value of the gas to be determined before the gas enters the combustion chamber DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is included for a device for operating the gas turbine.; USE - For turbines fuelled by the waste gases from chemical processes with which the calorific value fluctuates. ADVANTAGE - Enables the control system to maintain the combustion chamber temperature at a safe operating temperature DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a diagram of the gas turbine.  
PA: (ALLM ) ABB RES LTD;  
IN: HOEBEL M; RUCK T;  
FA: **DE19921981-A1** 16.11.2000;  
CO: DE;  
IC: F02C-009/28;  
MC: X11-C01; X11-C10;  
DC: Q52; X11;  
FN: 2001017389.gif  
PR: DE1021981 12.05.1999;  
FP: 16.11.2000  
UP: 18.01.2001

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 21 981 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 02 C 9/28**

⑳ Aktenzeichen: 199 21 981.8  
㉔ Anmeldetag: 12. 5. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 16. 11. 2000

**DE 199 21 981 A 1**

㉑ Anmelder:  
ABB Research Ltd., Zürich, CH

㉒ Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 79761  
Waldshut-Tiengen

㉓ Erfinder:  
Hoebel, Matthias, Dr., Baden, CH; Ruck, Thomas,  
Rekingen, CH

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

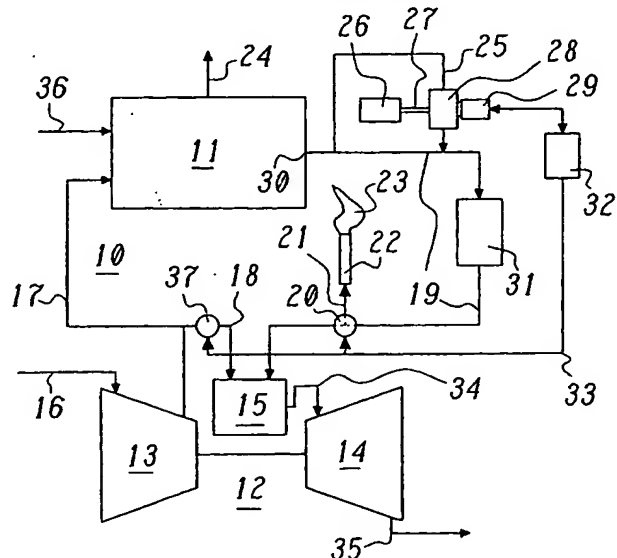
DE-PS 9 17 759  
DE-AS 10 97 214  
US 46 48 242

JP Patents Abstracts of Japan:  
62- 75034 A.,M- 622,Sep. 4,1987,Vol.11,No.272;  
61-255225 A.,M- 578,April 8,1987,Vol.11,No.111;  
62-170735 A.,M- 658,Jan. 13,1988,Vol.12,No. 10;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑤⑦ Bei einem Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine (12),  
welche durch Heißgas angetrieben wird, das in einer  
Brennkammer (15) durch Verbrennen eines Brenngases  
mit schwankendem Heizwert erzeugt wird, wird ein konti-  
nuierlicher und sicherer Betrieb der Gasturbine (12) da-  
durch gewährleistet, dass der Heizwert des Brenngases  
fortlaufend gemessen wird, und dass die Menge des der  
Brennkammer (15) zugeführten Brenngases nach Maßga-  
be des gemessenen Brennwertes so gesteuert wird, dass  
die Flammentemperatur in der Brennkammer (15) im we-  
sentlichen konstant bleibt.



**DE 199 21 981 A 1**

## TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Technik von Gasturbinen. Sie betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine, welche durch Heissgas angetrieben wird, das in einer Brennkammer durch Verbrennen eines Brenngases mit schwankendem Heizwert erzeugt wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

## STAND DER TECHNIK

Die Verfeuerung von Synthesegasen, die als Neben- oder Abfallprodukt z. B. bei der Erzeugung von synthetischem Oel aus Erdgas anfallen, stellt ein Einsatzgebiet für Gasturbinen dar. Die Gasturbine wird hierbei meist direkt in den chemischen Prozess der Gasumwandlung integriert, d. h., die Gasturbine liefert Luft in den Prozess, treibt Gasverdichter an und wird mit einem der Prozessendprodukte befeuert. Ein solcher Einsatz von Gasturbinen ist beispielsweise aus der Druckschrift US-A-5,733,941 bekannt. Andere chemische Prozesse, die unter Einsatz von Gasturbinen ablaufen, sind in der US-A5,177,114 oder der US-A-4,946,477 beschrieben.

Wichtig ist bei der Verfeuerung der gasförmigen Nebenprodukte natürlich, dass die Abfallgase schadstoffarm und zugleich nutzbringend "entsorgt" werden. Die grösste Schwierigkeit für das Betreiben der Gasturbine bei den o. g. Anwendungen besteht in der Zusammensetzung der anfallenden, meist niederkalorischen Brenngase bzw. Abfallgase. Diese bestehen hauptsächlich aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan und Stickstoff. Da die Brenngase als Endprodukt eines chemischen Prozesses anfallen, der Abnützungen oder Defekten unterliegt, kann deren Heizwert beträchtlich schwanken. Bei derzeit bekannten Umwandlungsprozessen kann sich z. B. bei einem Katalysatordefekt in der Gasumwandlungsanlage der Heizwert des Abfall- bzw. Brenngases verdreifachen. Da unter normalen Umständen die adiabate Flammentemperatur in der Brennkammer der Gasturbine etwa 1500 K beträgt, würde die Brennkammer und die Gasturbine durch die mit der plötzlichen Heizwerterhöhung einhergehenden Erhöhung der Flammentemperatur zerstört oder zumindest beschädigt, wenn nicht die Brennstoffmenge pro Zeiteinheit innerhalb von wenigen Sekunden entsprechend verringert werden würde.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine zu schaffen, welches hier Abhilfe schafft, und insbesondere bei einer Brenngasversorgung mit schwankendem Heizwert einen kontinuierlichen und sicheren Betrieb der Gasturbine gewährleistet, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, mittels einer (nahezu verzögerungslosen) Heizwertermittlung die der Gasturbine bzw. der Brennkammer zugeführte Brennstoffmenge so zu regeln, dass die Verbrennungstemperatur weitgehend konstant bleibt. Hierdurch wird ein schädliches Ansteigen der Heissgastemperatur bereits im Ansatz verhindert, so dass keine Massnahmen getroffen werden müssen, um erhöhte Flammen- bzw. Heissgastemperaturen zu neutralisieren oder unschädlich zu machen.

Eine erste bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das

Brenngas mehrere gasförmige Hauptbestandteile enthält, welche jeweils einen charakteristischen Brennwert aufweisen und in schwankenden relativen Konzentrationen vorliegen, und dass zur Bestimmung des Heizwertes des Brenngases die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile gemessen werden, und dass die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases optisch gemessen werden. Hierdurch lässt sich eine berührungslose und schnelle Ermittlung des Heizwertes erreichen, die eine gute Ausregelung der Heizwertschwankungen ermöglicht.

Messtechnisch besonders günstig ist es, wenn gemäss einer bevorzugten Weiterbildung der Ausführungsform die Hauptbestandteile des Brenngases jeweils durch ein charakteristisches Gasmolekül festgelegt sind, und die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases mittels Ramanstreuung gemessen werden, wobei ein Teil des zur Brennkammer geleiteten Brenngases in einer Messzelle mit Licht bestrahlt wird, und das durch Ramanstreuung an den Molekülen der Hauptbestandteile entstehende Streulicht in seiner spektralen Verteilung von einem Spektrographen aufgenommen und daraus die Zusammensetzung des Brenngases abgeleitet wird.

Eine zweite bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Messung des Heizwertes an einem vorgegebenen Ort stromaufwärts von der Brennkammer vorgenommen wird, und dass der Transport des Brenngases zwischen dem Messort und der Brennkammer soweit verzögert wird, dass durch die Messung und die darauf reagierende Mengensteuerung bedingte Verzögerungen kompensiert werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass eine Änderung in der Brennstoffmenge genau dann vorgenommen wird, wenn der Brennstoff mit dem zugehörigen Heizwert gerade die Brennkammer erreicht. Damit können auch schnelle Änderungen im Heizwert sicher ausgeregelt werden.

Damit bei einem chemischen Umwandlungsprozess, der das Brenngas zur Verfügung stellt, die Mengendurchsätze unverändert beibehalten werden können und ein Rückwirkung der Heizwertregelung auf den Prozess vermieden wird, wird gemäss einer anderen bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung zur Mengensteuerung des der Brennkammer zugeführten Brenngases ein steuerbarer Anteil des Brenngases abgezweigt und abgefackelt. Hierdurch ist es möglich, die Gesamtmenge des abgenommenen Brenngases konstant zu halten, auch wenn die der Brennkammer zugeführte Teilmenge aufgrund der heizwertbestimmten Regelung schwankt.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, die eine Gasturbine sowie eine Brennkammer umfasst, welche ausgangsseitig über einen Heissgaskanal mit dem Turbinenteil der Gasturbine verbunden ist, sowie eine Brenngasleitung, über welche der Brennkammer Brenngas zur Verbrennung zugeführt wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass in der Brenngasleitung erste Mittel zur Steuerung der zur Brennkammer strömenden Brenngasmenge angeordnet sind, und dass stromaufwärts von den ersten Mitteln zweite Mittel zur Messung des Heizwertes des durch die Brenngasleitung strömenden Brenngases an die Brenngasleitung angeschlossen sind, welche zweiten Mittel mit den ersten Mitteln in Wirkverbindung stehen.

Eine erste bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass die ersten Mittel ein Brenngasventil umfassen, dass die zweiten Mittel eine an die Brenngasleitung angeschlossene Bypassleitung umfassen, in welcher eine Messzelle zur optischen Vermessung des durchströmenden Brenngases angeordnet ist, und dass an der Messzelle eine Lichtquelle zur Einstrahlung von Licht in die Messzelle sowie eine Messeinrichtung



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 21 981 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**F 02 C 9/28**

⑲ Aktenzeichen: 199 21 981.8  
⑳ Anmeldetag: 12. 5. 1999  
㉑ Offenlegungstag: 16. 11. 2000

**DE 199 21 981 A 1**

⑦ Anmelder:  
ABB Research Ltd., Zürich, CH

⑧ Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 79761  
Waldshut-Tiengen

⑦ Erfinder:  
Hoebel, Matthias, Dr., Baden, CH; Ruck, Thomas,  
Rekingen, CH

⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE-PS 9 17 759  
DE-AS 10 97 214  
US 46 48 242

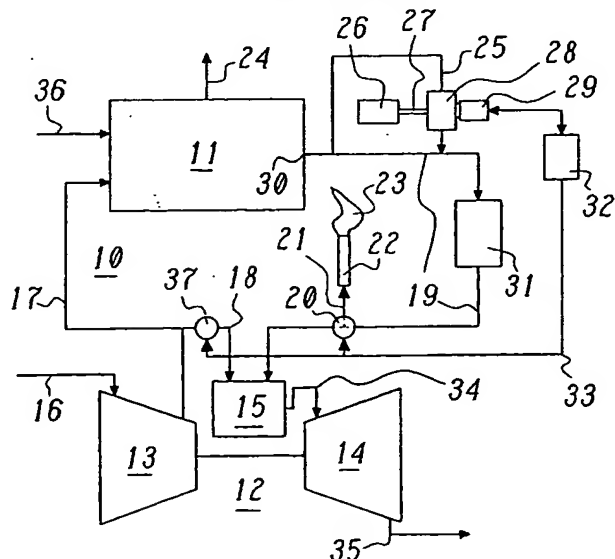
JP Patents Abstracts of Japan:

62- 75034 A.,M- 622,Sep. 4,1987,Vol.11,No.272;  
61-255225 A.,M- 578,April 8,1987,Vol.11,No.111;  
62-170735 A.,M- 658,Jan. 13,1988,Vol.12,No. 10;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤ Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑤ Bei einem Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine (12), welche durch Heißgas angetrieben wird, das in einer Brennkammer (15) durch Verbrennen eines Brenngases mit schwankendem Heizwert erzeugt wird, wird ein kontinuierlicher und sicherer Betrieb der Gasturbine (12) dadurch gewährleistet, dass der Heizwert des Brenngases fortlaufend gemessen wird, und dass die Menge des der Brennkammer (15) zugeführten Brenngases nach Maßgabe des gemessenen Brennwertes so gesteuert wird, dass die Flammentemperatur in der Brennkammer (15) im wesentlichen konstant bleibt.



**DE 199 21 981 A 1**

## TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Technik von Gasturbinen. Sie betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine, welche durch Heissgas angetrieben wird, das in einer Brennkammer durch Verbrennen eines Brenngases mit schwankendem Heizwert erzeugt wird, so wie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

## STAND DER TECHNIK

Die Verfeuerung von Synthesegasen, die als Neben- oder Abfallprodukt z. B. bei der Erzeugung von synthetischem Oel aus Erdgas anfallen, stellt ein Einsatzgebiet für Gasturbinen dar. Die Gasturbine wird hierbei meist direkt in den chemischen Prozess der Gasumwandlung integriert, d. h., die Gasturbine liefert Luft in den Prozess, treibt Gasverdichter an und wird mit einem der Prozessendprodukte befeuert. Ein solcher Einsatz von Gasturbinen ist beispielsweise aus der Druckschrift US-A-5,733,941 bekannt. Andere chemische Prozesse, die unter Einsatz von Gasturbinen ablaufen, sind in der US-A5,177,114 oder der US-A-4,946,477 beschrieben.

Wichtig ist bei der Verfeuerung der gasförmigen Nebenprodukte natürlich, dass die Abfallgase schadstoffarm und zugleich nutzbringend "entsorgt" werden. Die grösste Schwierigkeit für das Betreiben der Gasturbine bei den o. g. Anwendungen besteht in der Zusammensetzung der anfallenden, meist niederkalorischen Brenngase bzw. Abfallgase. Diese bestehen hauptsächlich aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan und Stickstoff. Da die Brenngase als Endprodukt eines chemischen Prozesses anfallen, der Abnützungen oder Defekten unterliegt, kann deren Heizwert beträchtlich schwanken. Bei derzeit bekannten Umwandlungsprozessen kann sich z. B. bei einem Katalysatordefekt in der Gasumwandlungsanlage der Heizwert des Abfall- bzw. Brenngases verdreifachen. Da unter normalen Umständen die adiabate Flammentemperatur in der Brennkammer der Gasturbine etwa 1500 K beträgt, würde die Brennkammer und die Gasturbine durch die mit der plötzlichen Heizwerterhöhung einhergehenden Erhöhung der Flammentemperatur zerstört oder zumindest beschädigt, wenn nicht die Brennstoffmenge pro Zeiteinheit innerhalb von wenigen Sekunden entsprechend verringert werden würde.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine zu schaffen, welches hier Abhilfe schafft, und insbesondere bei einer Brenngasversorgung mit schwankendem Heizwert einen kontinuierlichen und sicheren Betrieb der Gasturbine gewährleistet, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, mittels einer (nahezu verzögerungslosen) Heizwertermittlung die der Gasturbine bzw. der Brennkammer zugeführte Brennstoffmenge so zu regeln, dass die Verbrennungstemperatur weitgehend konstant bleibt. Hierdurch wird ein schädliches Ansteigen der Heissgastemperatur bereits im Ansatz verhindert, so dass keine Massnahmen getroffen werden müssen, um erhöhte Flammen- bzw. Heissgastemperaturen zu neutralisieren oder unschädlich zu machen.

Eine erste bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das

Brenngas mehrere gasförmige Hauptbestandteile enthält, welche jeweils einen charakteristischen Brennwert aufweisen und in schwankenden relativen Konzentrationen vorliegen, und dass zur Bestimmung des Heizwertes des Brenngases die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile gemessen werden, und dass die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases optisch gemessen werden. Hierdurch lässt sich eine berührungslose und schnelle Ermittlung des Heizwertes erreichen, die eine gute Ausregelung der Heizwertschwankungen ermöglicht.

Messtechnisch besonders günstig ist es, wenn gemäss einer bevorzugten Weiterbildung der Ausführungsform die Hauptbestandteile des Brenngases jeweils durch ein charakteristisches Gasmolekül festgelegt sind, und die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases mittels Ramanstreuung gemessen werden, wobei ein Teil des zur Brennkammer geleiteten Brenngases in einer Messzelle mit Licht bestrahlt wird, und das durch Ramanstreuung an den Molekülen der Hauptbestandteile entstehende Streulicht in seiner spektralen Verteilung von einem Spektrographen aufgenommen und daraus die Zusammensetzung des Brenngases abgeleitet wird.

Eine zweite bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Messung des Heizwertes an einem vorgegebenen Ort stromaufwärts von der Brennkammer vorgenommen wird, und dass der Transport des Brenngases zwischen dem Messort und der Brennkammer soweit verzögert wird, dass durch die Messung und die darauf reagierende Mengensteuerung bedingte Verzögerungen kompensiert werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass eine Änderung in der Brennstoffmenge genau dann vorgenommen wird, wenn der Brennstoff mit dem zugehörigen Heizwert gerade die Brennkammer erreicht. Damit können auch schnelle Änderungen im Heizwert sicher ausgeglegt werden.

Damit bei einem chemischen Umwandlungsprozess, der das Brenngas zur Verfügung stellt, die Mengendurchsätze unverändert beibehalten werden können und ein Rückwirkung der Heizwertregelung auf den Prozess vermieden wird, wird gemäss einer anderen bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung zur Mengensteuerung des der Brennkammer zugeführten Brenngases ein steuerbarer Anteil des Brenngases abgezweigt und abgefackelt. Hierdurch ist es möglich, die Gesamtmenge des abgenommenen Brenngases konstant zu halten, auch wenn die der Brennkammer zugeführte Teilmenge aufgrund der heizwertbestimmten Regelung schwankt.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, die eine Gasturbine sowie eine Brennkammer umfasst, welche ausgangsseitig über einen Heissgaskanal mit dem Turbinenteil der Gasturbine verbunden ist, sowie eine Brenngasleitung, über welche der Brennkammer Brenngas zur Verbrennung zugeführt wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass in der Brenngasleitung erste Mittel zur Steuerung der zur Brennkammer strömenden Brenngasmenge angeordnet sind, und dass stromaufwärts von den ersten Mitteln zweite Mittel zur Messung des Heizwertes des durch die Brenngasleitung strömenden Brenngases an die Brenngasleitung angeschlossen sind, welche zweiten Mittel mit den ersten Mitteln in Wirkverbindung stehen.

Eine erste bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass die ersten Mittel ein Brenngasventil umfassen, dass die zweiten Mittel eine an die Brenngasleitung angeschlossene Bypassleitung umfassen, in welcher eine Messzelle zur optischen Vermessung des durchströmenden Brenngases angeordnet ist, und dass an der Messzelle eine Lichtquelle zur Einstrahlung von Licht in die Messzelle sowie eine Messeinrichtung



zur Aufnahme des durch die Einstrahlung hervorgerufenen Streulichtspektrums, insbesondere ein gekühlter, hochempfindlicher Spektrograph, angeordnet sind.

Eine zweite bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Teil einer Gasumwandlungsanlage ist, in welcher gasförmige Kohlenwasserstoffe, insbesondere Erdgas, unter Entstehung von Restgasen teilweise in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden, und die niederkalorischen Restgase als Brenngas für den Antrieb der Gasturbine verwendet werden, welche ihrerseits verfahrenstechnisch in den Gasumwandlungsprozess einbezogen ist.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

#### KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 ein vereinfachtes Schema einer Gasumwandlungsanlage mit einer durch Abfallgase betriebenen Gasturbine mit einer heizwertgesteuerten Brenngasmengenregelung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Regelprozesses der Anlage nach Fig. 1.

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In Fig. 1 ist ein vereinfachtes Schema einer Gasumwandlungsanlage mit einer durch Abfallgase betriebenen Gasturbine mit einer heizwertgesteuerten Brenngasmengenregelung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wiedergegeben. Die Gasumwandlungsanlage 10 umfasst einen zentralen Prozessteil 11, in welchem auf eine (hier nicht weiter beschriebene) Weise ein durch einen Gaseinlass 36 zugeführtes Ausgangsgas (z. B. Erdgas) in ein Flüssigprodukt umgewandelt wird, welches seinerseits an einem Ausgang 24 zur Verfügung steht. Das Ausgangsgas am Gaseinlass 36 kann dabei mittels einer (nicht gezeigten) Kompressionsstufe komprimiert sein, die Teil der Gasturbine 12 ist. Als Abfallprodukt entsteht bei diesem Prozess ein Synthesegas oder Restgas, das an einem Restgasauslass 30 des Prozessteils 11 entnommen wird. Das Restgas wird als Brenngas über eine Brenngasleitung 19 einer Brennkammer 15 zugeführt und dort unter Hinzufügen von Verbrennungsluft verbrannt. Das bei der Verbrennung entstehende Heissgas gelangt über einen Heissgaskanal 34 in den Turbinenteil 14 der Gasturbine 12 und leistet dort Arbeit, um die Turbine anschliessend durch den Turbinenauslass 35 zu verlassen. Mit dem Turbinenteil 14 über eine Welle gekoppelt ist ein Verdichterteil 13, der über einen Lufteinlass 16 zugeführte Luft verdichtet und die verdichtete Luft über eine Druckluftleitung 17 an den Prozessteil 11 abgibt. Von der Druckluftleitung 17 geht eine Abzweigleitung 18 ab, über die der Brennkammer 15 die notwendige Verbrennungsluft zugeführt wird. Es versteht sich von selbst, dass die Versorgung der Brennkammer 15 mit Luft auch anders gelöst werden kann.

Gemäss der Erfindung wird nun an der Brenngasleitung 19 der Heizwert des durchströmenden Brenngases bzw. Synthesegases fortlaufend gemessen und die der Brennkammer 15 über die Brenngasleitung 19 pro Zeiteinheit zugeführte Brenngasmenge nach Massgabe des gemessenen Heizwertes so geregelt, dass die Verbrennungstemperatur in der Brennkammer 15 im wesentlichen konstant bleibt. Die Regelung besteht damit aus zwei Teilen, nämlich der Senso-

rik, die mit minimalem Zeitverzug den Heizwert des angelieferten Brenngases bestimmt, und der Mengensteuerung, mit welcher die der Gasturbine 12 bzw. der Brennkammer 15 zugeführte Brenngasmenge gesteuert wird.

Für die Sensorik wird die Korrelation zwischen dem Heizwert und der Zusammensetzung des Restgases bzw. Synthesegases ausgenutzt. Entscheidend ist, dass der Anteil der einzelnen Komponenten innerhalb weniger Sekunden mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden kann. Der Heizwert wird dann über eine Kalibrationsfunktion ermittelt, in die die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases, im vorliegenden Beispiel Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan und Stickstoff, als Variablen eingehen.

Die Konzentrationsmessung erfolgt optisch mittels Ramanstreuung. Dazu wird gemäss Fig. 1 über eine Bypassleitung 25 ein geringer Teil des durch die Brenngasleitung 19 strömenden Brenngases (Restgases) durch eine Messzelle 28 geleitet. Über eine Glasfaser bzw. einen Lichtleiter 27 wird ein intensiver gepulster Laserstrahl aus einer Laserlichtquelle 26 durch das Messvolumen der Messzelle 28 gesandt. Die Ramanstreuung an den unterschiedlichen Gasmolekülen der Hauptbestandteile des Brenngases erzeugt charakteristische Wellenlängenverschiebungen des gestreuten Lichtes. Aus der spektralen Signatur des Streulichtes kann mittels eines Spektrographen 29 somit die Zusammensetzung des Restgases in der Messzelle 28 bestimmt werden.

Von Vorteil ist bei dieser Methode, dass mit einem einzigen Sensor alle vier Hauptbestandteile des Restgases gleichzeitig erfasst werden können. Die charakteristischen Ramanshifts ( $N_2$ : 2331  $cm^{-1}$ ,  $H_2$ : 4160  $cm^{-1}$ ,  $CO$ : 2145  $cm^{-1}$ ,  $CH_4$ : 2915  $cm^{-1}$ ) erlauben eine überlappungsfreie Trennung der einzelnen Signalkomponenten. Weiterhin kann die Konzentrationsbestimmung als Relativmessung durchgeführt werden (relativer Vergleich der Peakflächen des Streulichtspektrums), wodurch der Einfluss von Laserintensitätsschwankungen oder geringer Verschmutzungen der Sichtfenster der Messzelle 28 drastisch reduziert wird. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist, dass bei der Verwendung eines Spektrographen 29 der Untergrundanteil simultan bei der Messung bestimmt wird, wodurch sich die Genauigkeit der Methode erhöht.

Mit den aus der Literatur bekannten Raman-Streuquerschnitten kann in ca. 10 s eine Heizwertbestimmung durchgeführt werden. Als Spektrograph 29 kommt dabei vorteilhafterweise ein gekühlter, hochempfindlicher Miniaturspektrograph der neuesten Generation zum Einsatz. Denkbar ist auch der Einsatz eines kompletten Raman-Analyzersystems, wie es beispielsweise von der Firma Kaiser Optical Systems, Inc. angeboten wird. Die Zeitdauer, die das Brenngas zwischen dem Messort und dem Regelort (Brenngasventil 20 in Fig. 1) vor dem Eintritt in die Brennkammer 15 benötigt, muss gleich oder länger sein als die Zeitdauer der Messung des Heizwertes und der nachfolgenden Mengenregelung. Um dies sicherzustellen, ist als Zeitverzögerungsglied in die Brenngasleitung 19 eine Kompensationseinrichtung 31 eingefügt, die im einfachsten Falle aus einem längeren Stück Leitung bestehen kann. Als Nebeneffekt liefert die Sensorik für den Betreiber des chemischen Prozesses die Zusammensetzung des Restgases und damit wichtige Prozessüberwachungsdaten, die zur Online-Steuerung des Syntheseprozesses im Prozessteil 11 ausgenutzt werden können.

Die Mengensteuerung erfolgt mittels eines in die Brenngasleitung 19 eingefügten steuerbaren Brenngasventils 20, dass je nach Ventilstellung einen mehr oder weniger grossen Anteil des durch die Brenngasleitung 19 strömenden Brenngases in eine Ableitung 21 abzweigt, und den Rest zur Brennkammer 15 hin passieren lässt. Die Ableitung 21 führt

im einfachsten Fall zu einer Abfackeleinrichtung 22, in welcher das überschüssige Brenngas in Form einer Fackel 23 verbrannt wird. Dies hat den Vorteil, dass die Gesamtmenge des Brenngases konstant bleiben kann. Mit der Steuerung der Brenngasmenge muss gleichzeitig auch die Zufuhr der Verbrennungsluft zur Brennkammer entsprechend gesteuert werden. Hierzu ist in der Abzweigleitung 18 ein Luftventil 37 vorgesehen. Beide Ventile 20 und 37 werden über Steuerleitungen 33 von einer Steuerung 32 angesteuert, die mit dem Spektrographen 29 Steuerungs- und Messdaten austauscht.

Ein mit der Anlage nach Fig. 1 erreichbares Regelverhalten ist in Fig. 2 in einem beispielhaften Zeitdiagramm dargestellt. Wenn zum Zeitpunkt  $t_1$  der Heizwert HW des Brenngases gemäss der gestrichelten Kurve drastisch ansteigt, wird dies durch die Heizwertmessung mit einer Dauer  $\Delta t_{\text{mess}}$  erkannt. Der gemessene Heizwert dient als Regelgrösse zur Ansteuerung des Brenngasventils 20. Die nach der Messung eingeleitete Regelaktion benötigt eine Dauer  $\Delta t_{\text{reaktion}}$ . Nach Verstreichen dieser beiden Zeiten wird zum Zeitpunkt  $t_2$  die Brenngasmenge BG reduziert. Die Flammentemperatur FT erhöht sich nur kurzzeitig und geringfügig und kehrt nach vollendetem Regelvorgang auf ihren Normalwert zurück. Die durch die Kompensationseinrichtung 31 bewirkte Zeitverzögerung  $\Delta t_{\text{gas}}$  beim Brenngastransport zur Brennkammer ist dabei ungefähr gleich oder etwas grösser als die Summe der beiden anderen Zeiten  $\Delta t_{\text{mess}}$  und  $\Delta t_{\text{reaktion}}$ .

## BEZUGSZEICHENLISTE

10	Gasumwandlungsanlage	30
11	Prozessteil	
12	Gasturbine	
13	Verdichterteil	
14	Turbinenteil	35
15	Brennkammer	
16	Lufteinlass	
17	Druckluftleitung	
18	Abzweigleitung (Druckluft)	
19	Brenngasleitung	40
20	Brenngasventil	
21	Ableitung	
22	Abfackeleinrichtung	
23	Fackel	
24	Ausgang (Flüssigprodukt)	45
25	Bypassleitung	
26	Laserlichtquelle (gepulst)	
27	Lichtleiter	
28	Messzelle	
29	Spektrograph	50
30	Restgasauslass	
31	Kompensationseinrichtung	
32	Steuerung	
33	Steuerleitung	
34	Heissgaskanal	55
35	Turbinenauslass	
36	Gaseinlass (z. B. Erdgas)	
37	Luftventil	
HW	Heizwert	
FT	Flammentemperatur	60
BG	Brenngasmenge	
$\Delta t_{\text{gas}}$	Zeitverzögerung durch Kompensationseinrichtung	
$\Delta t_{\text{mess}}$	Dauer Heizwertbestimmung	
$\Delta t_{\text{reaktion}}$	Reaktionszeit Brenngasventil	
$t_1, t_2$	Zeitpunkt	65

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine (12), welche durch Heissgas angetrieben wird, das in einer Brennkammer (15) durch Verbrennen eines Brenngases mit schwankendem Heizwert erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizwert des Brenngases fortlaufend gemessen wird, und dass die Menge des der Brennkammer (15) zugeführten Brenngases nach Massgabe des gemessenen Brennwertes so gesteuert wird, dass die Flammentemperatur (FT) in der Brennkammer (15) im wesentlichen konstant bleibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Brenngas mehrere gasförmige Hauptbestandteile enthält, welche jeweils einen charakteristischen Brennwert aufweisen und in schwankenden relativen Konzentrationen vorliegen, und dass zur Bestimmung des Heizwertes des Brenngases die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile gemessen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases optisch gemessen werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Hauptbestandteile des Brenngases jeweils durch ein charakteristisches Gasmolekül festgelegt sind, und dass die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases mittels Ramanstreuung gemessen werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des zur Brennkammer (15) geleiteten Brenngases in einer Messzelle (28) mit Licht bestrahlt wird, und dass das durch Ramanstreuung an den Molekülen der Hauptbestandteile entstehende Streulicht in seiner spektralen Verteilung von einem Spektrographen (29) aufgenommen und daraus die Zusammensetzung des Brenngases abgeleitet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung des Heizwertes an einem vorgegebenen Ort (25, 28) stromaufwärts von der Brennkammer (15) vorgenommen wird, und dass der Transport des Brenngases zwischen dem Messort (25, 28) und der Brennkammer (15) soweit verzögert wird, dass durch die Messung und die darauf reagierende Mengensteuerung bedingte Verzögerungen ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ,  $\Delta t_{\text{reaktion}}$ ) kompensiert werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Mengensteuerung des der Brennkammer (15) zugeführten Brenngases ein steuerbarer Anteil des Brenngases abgezweigt und abgefackelt wird.
8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, umfassend eine Gasturbine (12) sowie eine Brennkammer (15), welche ausgangsseitig über einen Heissgaskanal (34) mit dem Turbinenteil (14) der Gasturbine (12) verbunden ist, sowie eine Brenngasleitung (19), über welche der Brennkammer (15) Brenngas zur Verbrennung zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass in der Brenngasleitung (19) erste Mittel (20) zur Steuerung der zur Brennkammer (15) strömenden Brenngasmenge angeordnet sind, und dass stromaufwärts von den ersten Mitteln (20) zweite Mittel (25, . . . , 29) zur Messung des Heizwertes des durch die Brenngasleitung (19) strömenden Brenngases an die Brenngasleitung (19) angeschlossen sind, welche zweiten Mittel (25, . . . , 29) mit den ersten Mitteln (20) in Wirkverbindung stehen.

zur Aufnahme des durch die Einstrahlung hervorgerufenen Streulichtspektrums, insbesondere ein gekühlter, hochempfindlicher Spektrograph, angeordnet sind.

Eine zweite bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Teil einer Gasumwandlungsanlage ist, in welcher gasförmige Kohlenwasserstoffe, insbesondere Erdgas, unter Entstehung von Restgasen teilweise in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden, und die niederkalorischen Restgase als Brenngas für den Antrieb der Gasturbine verwendet werden, welche ihrerseits verfahrenstechnisch in den Gasumwandlungsprozess einbezogen ist.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

#### KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 ein vereinfachtes Schema einer Gasumwandlungsanlage mit einer durch Abfallgase betriebenen Gasturbine mit einer heizwertgesteuerten Brenngasmengenregelung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Regelprozesses der Anlage nach Fig. 1.

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In Fig. 1 ist ein vereinfachtes Schema einer Gasumwandlungsanlage mit einer durch Abfallgase betriebenen Gasturbine mit einer heizwertgesteuerten Brenngasmengenregelung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wiedergegeben. Die Gasumwandlungsanlage 10 umfasst einen zentralen Prozessteil 11, in welchem auf eine (hier nicht weiter beschriebene) Weise ein durch einen Gaseinlass 36 zugeführtes Ausgangsgas (z. B. Erdgas) in ein Flüssigprodukt umgewandelt wird, welches seinerseits an einem Ausgang 24 zur Verfügung steht. Das Ausgangsgas am Gaseinlass 36 kann dabei mittels einer (nicht gezeigten) Kompressionsstufe komprimiert sein, die Teil der Gasturbine 12 ist. Als Abfallprodukt entsteht bei diesem Prozess ein Synthesegas oder Restgas, das an einem Restgasauslass 30 des Prozessteils 11 entnommen wird. Das Restgas wird als Brenngas über eine Brenngasleitung 19 einer Brennkammer 15 zugeführt und dort unter Hinzufügen von Verbrennungsluft verbrannt. Das bei der Verbrennung entstehende Heissgas gelangt über einen Heissgaskanal 34 in den Turbinenteil 14 der Gasturbine 12 und leistet dort Arbeit, um die Turbine anschliessend durch den Turbinenauslass 35 zu verlassen. Mit dem Turbinenteil 14 über eine Welle gekoppelt ist ein Verdichterteil 13, der über einen Lufteinlass 16 zugeführte Luft verdichtet und die verdichtete Luft über eine Druckluftleitung 17 an den Prozessteil 11 abgibt. Von der Druckluftleitung 17 geht eine Abzweigleitung 18 ab, über die der Brennkammer 15 die notwendige Verbrennungsluft zugeführt wird. Es versteht sich von selbst, dass die Versorgung der Brennkammer 15 mit Luft auch anders gelöst werden kann.

Gemäss der Erfindung wird nun an der Brenngasleitung 19 der Heizwert des durchströmenden Brenngases bzw. Synthesegases fortlaufend gemessen und die der Brennkammer 15 über die Brenngasleitung 19 pro Zeiteinheit zugeführte Brenngasmenge nach Massgabe des gemessenen Heizwertes so geregelt, dass die Verbrennungstemperatur in der Brennkammer 15 im wesentlichen konstant bleibt. Die Regelung besteht damit aus zwei Teilen, nämlich der Senso-

rik, die mit minimalem Zeitverzug den Heizwert des angelieferten Brenngases bestimmt, und der Mengensteuerung, mit welcher die der Gasturbine 12 bzw. der Brennkammer 15 zugeführte Brenngasmenge gesteuert wird.

Für die Sensorik wird die Korrelation zwischen dem Heizwert und der Zusammensetzung des Restgases bzw. Synthesegases ausgenutzt. Entscheidend ist, dass der Anteil der einzelnen Komponenten innerhalb weniger Sekunden mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden kann. Der Heizwert wird dann über eine Kalibrationsfunktion ermittelt, in die die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases, im vorliegenden Beispiel Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan und Stickstoff, als Variablen eingehen.

Die Konzentrationsmessung erfolgt optisch mittels Ramanstreuung. Dazu wird gemäss Fig. 1 über eine Bypassleitung 25 ein geringer Teil des durch die Brenngasleitung 19 strömenden Brenngases (Restgases) durch eine Messzelle 28 geleitet. Über eine Glasfaser bzw. einen Lichtleiter 27 wird ein intensiver gepulster Laserstrahl aus einer Laserlichtquelle 26 durch das Messvolumen der Messzelle 28 gesandt. Die Ramanstreuung an den unterschiedlichen Gasmolekülen der Hauptbestandteile des Brenngases erzeugt charakteristische Wellenlängenverschiebungen des gestreuten Lichtes. Aus der spektralen Signatur des Streulichtes kann mittels eines Spektrographen 29 somit die Zusammensetzung des Restgases in der Messzelle 28 bestimmt werden.

Von Vorteil ist bei dieser Methode, dass mit einem einzigen Sensor alle vier Hauptbestandteile des Restgases gleichzeitig erfasst werden können. Die charakteristischen Ramanshifts ( $\text{N}_2$ :  $2331\text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{H}_2$ :  $4160\text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{CO}$ :  $2145\text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$ :  $2915\text{ cm}^{-1}$ ) erlauben eine überlappungsfreie Trennung der einzelnen Signalkomponenten. Weiterhin kann die Konzentrationsbestimmung als Relativmessung durchgeführt werden (relativer Vergleich der Peakflächen des Streulichtspektrums), wodurch der Einfluss von Laserintensitätsschwankungen oder geringer Verschmutzungen der Sichtfenster der Messzelle 28 drastisch reduziert wird. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist, dass bei der Verwendung eines Spektrographen 29 der Untergrundanteil simultan bei der Messung bestimmt wird, wodurch sich die Genauigkeit der Methode erhöht.

Mit den aus der Literatur bekannten Raman-Streuquerschnitten kann in ca. 10 s eine Heizwertbestimmung durchgeführt werden. Als Spektrograph 29 kommt dabei vorteilhafterweise ein gekühlter, hochempfindlicher Miniaturspektrograph der neuesten Generation zum Einsatz. Denkbar ist auch der Einsatz eines kompletten Raman-Analyzer-Systems, wie es beispielsweise von der Firma Kaiser Optical Systems, Inc. angeboten wird. Die Zeitdauer, die das Brenngas zwischen dem Messort und dem Regelort (Brenngasventil 20 in Fig. 1) vor dem Eintritt in die Brennkammer 15 benötigt, muss gleich oder länger sein als die Zeitdauer der Messung des Heizwertes und der nachfolgenden Mengenregelung. Um dies sicherzustellen, ist als Zeitverzögerungsglied in die Brenngasleitung 19 eine Kompensationseinrichtung 31 eingefügt, die im einfachsten Falle aus einem längeren Stück Leitung bestehen kann. Als Nebeneffekt liefert die Sensorik für den Betreiber des chemischen Prozesses die Zusammensetzung des Restgases und damit wichtige Prozessüberwachungsdaten, die zur Online-Steuerung des Syntheseprozesses im Prozessteil 11 ausgenutzt werden können.

Die Mengensteuerung erfolgt mittels eines in die Brenngasleitung 19 eingefügten steuerbaren Brenngasventils 20, dass je nach Ventilstellung einen mehr oder weniger grossen Anteil des durch die Brenngasleitung 19 strömenden Brenngases in eine Ableitung 21 abzweigt, und den Rest zur Brennkammer 15 hin passieren lässt. Die Ableitung 21 führt

im einfachsten Fall zu einer Abfackeleinrichtung 22, in welcher das überschüssige Brenngas in Form einer Fackel 23 verbrannt wird. Dies hat den Vorteil, dass die Gesamtmenge des Brenngases konstant bleiben kann. Mit der Steuerung der Brenngasmenge muss gleichzeitig auch die Zufuhr der Verbrennungsluft zur Brennkammer entsprechend gesteuert werden. Hierzu ist in der Abzweigleitung 18 ein Luftventil 37 vorgesehen. Beide Ventile 20 und 37 werden über Steuerleitungen 33 von einer Steuerung 32 angesteuert, die mit dem Spektrographen 29 Steuerungs- und Messdaten austauscht.

Ein mit der Anlage nach Fig. 1 erreichbares Regelverhalten ist in Fig. 2 in einem beispielhaften Zeitdiagramm dargestellt. Wenn zum Zeitpunkt  $t_1$  der Heizwert HW des Brenngases gemäss der gestrichelten Kurve drastisch ansteigt, wird dies durch die Heizwertmessung mit einer Dauer  $\Delta t_{\text{mess}}$  erkannt. Der gemessene Heizwert dient als Regelgrösse zur Ansteuerung des Brenngasventils 20. Die nach der Messung eingeleitete Regelaktion benötigt eine Dauer  $\Delta t_{\text{reaktion}}$ . Nach Verstreichen dieser beiden Zeiten wird zum Zeitpunkt  $t_2$  die Brenngasmenge BG reduziert. Die Flammentemperatur FT erhöht sich nur kurzzeitig und geringfügig und kehrt nach vollendetem Regelvorgang auf ihren Normalwert zurück. Die durch die Kompensationseinrichtung 31 bewirkte Zeitverzögerung  $\Delta t_{\text{gas}}$  beim Brenngastransport zur Brennkammer ist dabei ungefähr gleich oder etwas grösser als die Summe der beiden anderen Zeiten  $\Delta t_{\text{mess}}$  und  $\Delta t_{\text{reaktion}}$ .

## BEZUGSZEICHENLISTE

10	Gasumwandlungsanlage	30
11	Prozessteil	
12	Gasturbine	
13	Verdichterteil	
14	Turbinenteil	35
15	Brennkammer	
16	Lufteinlass	
17	Druckluftleitung	
18	Abzweigleitung (Druckluft)	
19	Brenngasleitung	40
20	Brenngasventil	
21	Ableitung	
22	Abfackeleinrichtung	
23	Fackel	
24	Ausgang (Flüssigprodukt)	45
25	Bypassleitung	
26	Laserlichtquelle (gepulst)	
27	Lichtleiter	
28	Messzelle	
29	Spektrograph	50
30	Restgasauslass	
31	Kompensationseinrichtung	
32	Steuerung	
33	Steuerleitung	
34	Heissgaskanal	55
35	Turbinenauslass	
36	Gaseinlass (z. B. Erdgas)	
37	Luftventil	
HW	Heizwert	
FT	Flammentemperatur	60
BG	Brenngasmenge	
$\Delta t_{\text{gas}}$	Zeitverzögerung durch Kompensationseinrichtung	
$\Delta t_{\text{mess}}$	Dauer Heizwertbestimmung	
$\Delta t_{\text{reaktion}}$	Reaktionszeit Brenngasventil	
$t_1, t_2$	Zeitpunkt	65

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine (12), welche durch Heissgas angetrieben wird, das in einer Brennkammer (15) durch Verbrennen eines Brenngases mit schwankendem Heizwert erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizwert des Brenngases fortlaufend gemessen wird, und dass die Menge des der Brennkammer (15) zugeführten Brenngases nach Massgabe des gemessenen Brennwertes so gesteuert wird, dass die Flammentemperatur (FT) in der Brennkammer (15) im wesentlichen konstant bleibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Brenngas mehrere gasförmige Hauptbestandteile enthält, welche jeweils einen charakteristischen Brennwert aufweisen und in schwankenden relativen Konzentrationen vorliegen, und dass zur Bestimmung des Heizwertes des Brenngases die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile gemessen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases optisch gemessen werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Hauptbestandteile des Brenngases jeweils durch ein charakteristisches Gasmolekül festgelegt sind, und dass die relativen Konzentrationen der Hauptbestandteile des Brenngases mittels Ramanstreuung gemessen werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des zur Brennkammer (15) geleiteten Brenngases in einer Messzelle (28) mit Licht bestrahlt wird, und dass das durch Ramanstreuung an den Molekülen der Hauptbestandteile entstehende Streulicht in seiner spektralen Verteilung von einem Spektrographen (29) aufgenommen und daraus die Zusammensetzung des Brenngases abgeleitet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung des Heizwertes an einem vorgegebenen Ort (25, 28) stromaufwärts von der Brennkammer (15) vorgenommen wird, und dass der Transport des Brenngases zwischen dem Messort (25, 28) und der Brennkammer (15) soweit verzögert wird, dass durch die Messung und die darauf reagierende Mengensteuerung bedingte Verzögerungen ( $\Delta t_{\text{mess}}$ ,  $\Delta t_{\text{reaktion}}$ ) kompensiert werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Mengensteuerung des der Brennkammer (15) zugeführten Brenngases ein steuerbarer Anteil des Brenngases abgezweigt und abgefackelt wird.
8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, umfassend eine Gasturbine (12) sowie eine Brennkammer (15), welche ausgangsseitig über einen Heissgaskanal (34) mit dem Turbinenteil (14) der Gasturbine (12) verbunden ist, sowie eine Brenngasleitung (19), über welche der Brennkammer (15) Brenngas zur Verbrennung zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass in der Brenngasleitung (19) erste Mittel (20) zur Steuerung der zur Brennkammer (15) strömenden Brenngasmenge angeordnet sind, und dass stromaufwärts von den ersten Mitteln (20) zweite Mittel (25, ..., 29) zur Messung des Heizwertes des durch die Brenngasleitung (19) strömenden Brenngases an die Brenngasleitung (19) angeschlossen sind, welche zweiten Mittel (25, ..., 29) mit den ersten Mitteln (20) in Wirkverbindung stehen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Mittel ein Brenngasventil (20) umfassen, und dass die zweiten Mittel eine an die Brenngasleitung (19) angeschlossene Bypassleitung (25) umfassen, in welcher eine Messzelle (28) zur optischen Vermessung des durchströmenden Brenngases angeordnet ist. 5

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass an der Messzelle (28) eine Lichtquelle (26, 27) zur Einstrahlung von Licht in die Messzelle (28) sowie eine Messeinrichtung zur Aufnahme des durch die Einstrahlung hervorgerufenen Streulichtspektrums, insbesondere ein gekühlter, hochempfindlicher Spektrograph (29), angeordnet sind. 10

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den ersten und zweiten Mitteln (20 bzw. 25, . . . , 29) eine Kompensationseinrichtung (31) zur Kompensation der bei der Steuerung auftretenden Zeitverzögerung vorgesehen ist. 15 20

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Teil einer Gasumwandlungsanlage (10) ist, in welcher gasförmige Kohlenwasserstoffe, insbesondere Erdgas, unter Entstehung von Restgasen teilweise in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden, und die niederkalorischen Restgase als Brenngas für den Antrieb der Gasturbine (12) verwendet werden, welche ihrerseits verfahrenstechnisch in den Gasumwandlungsprozess einbezogen ist. 25 30

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Mittel ein Brenngasventil (20) umfassen, und dass die zweiten Mittel eine an die Brenngasleitung (19) angeschlossene Bypassleitung (25) umfassen, in welcher eine Messzelle (28) zur optischen Vermessung des durchströmenden Brenngases angeordnet ist. 5

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass an der Messzelle (28) eine Lichtquelle (26, 27) zur Einstrahlung von Licht in die Messzelle (28) sowie eine Messeinrichtung zur Aufnahme des durch die Einstrahlung hervorgerufenen Streulichtspektrums, insbesondere ein gekühlter, hochempfindlicher Spektrograph (29), angeordnet sind. 10

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den ersten und zweiten Mitteln (20 bzw. 25, . . . , 29) eine Kompensationseinrichtung (31) zur Kompensation der bei der Steuerung auftretenden Zeitverzögerung vorgesehen ist. 15 20

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Teil einer Gasumwandlungsanlage (10) ist, in welcher gasförmige Kohlenwasserstoffe, insbesondere Erdgas, unter Entstehung von Restgasen teilweise in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden, und die niederkalorischen Restgase als Brenngas für den Antrieb der Gasturbine (12) verwendet werden, welche ihrerseits verfahrenstechnisch in den Gasumwandlungsprozess einbezogen ist. 25 30

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



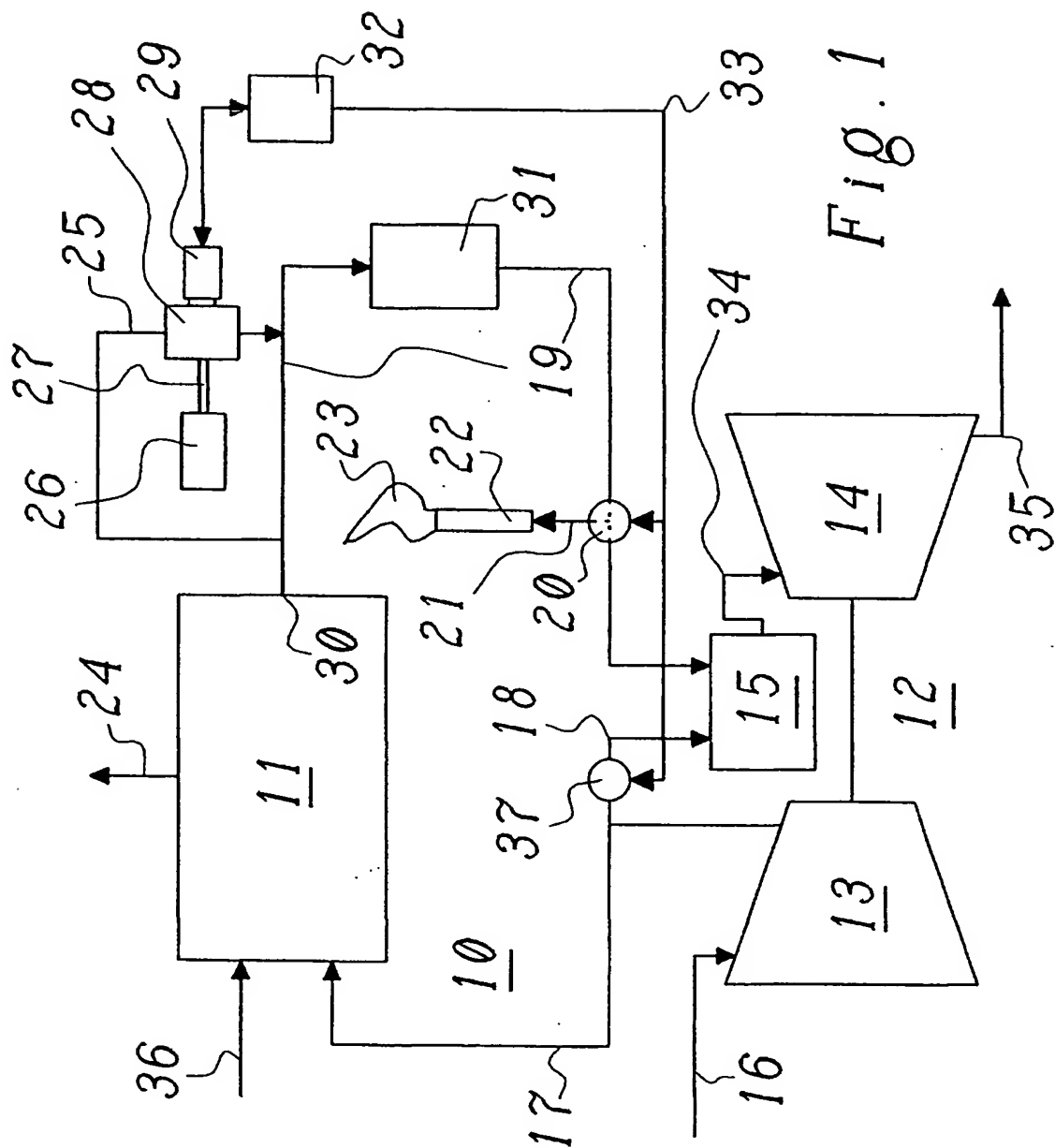


Fig. 1

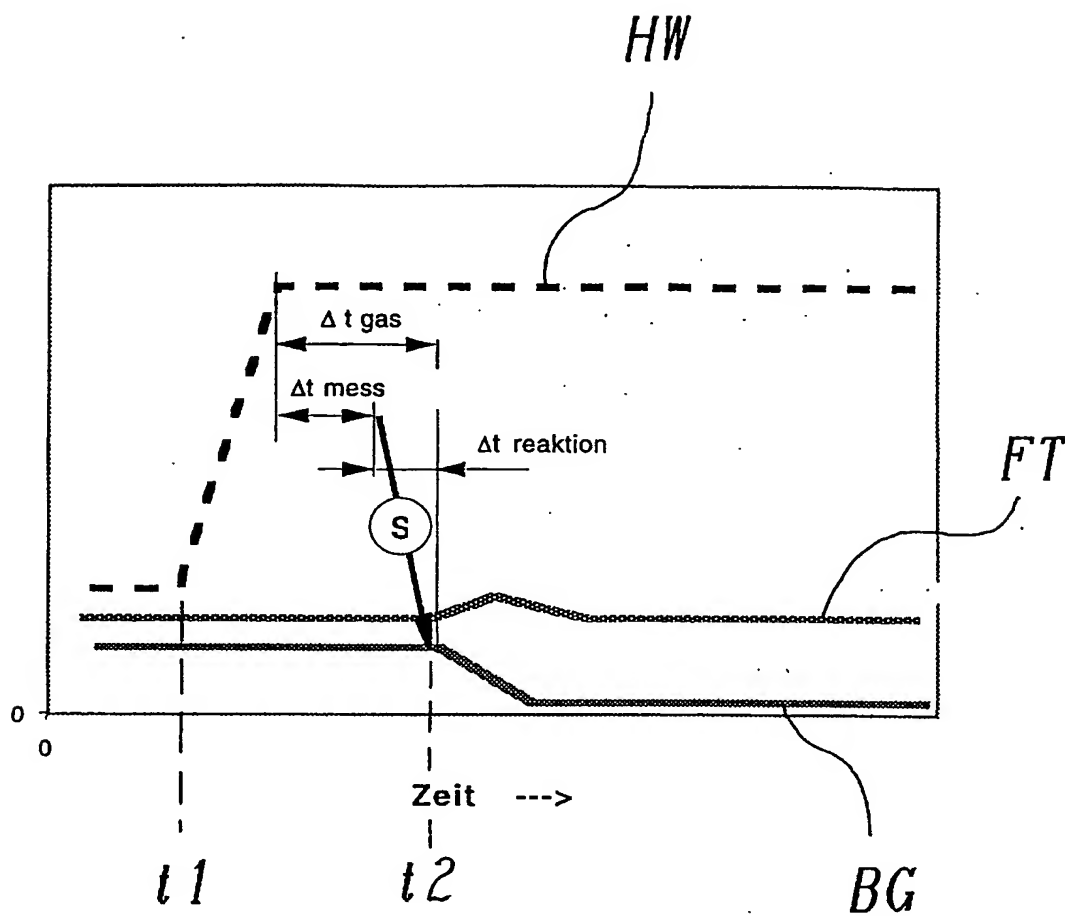


Fig. 2

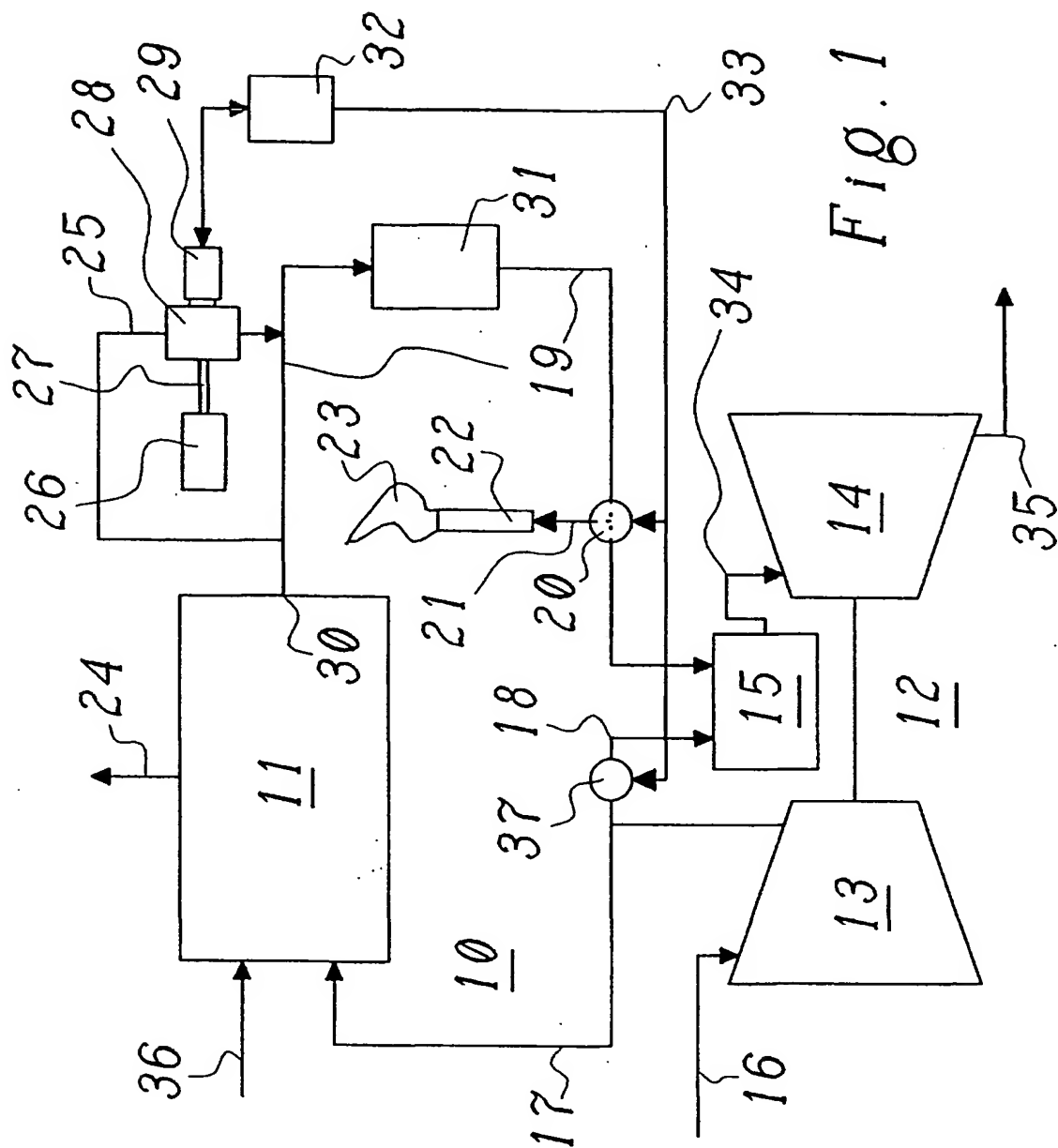


Fig. 1

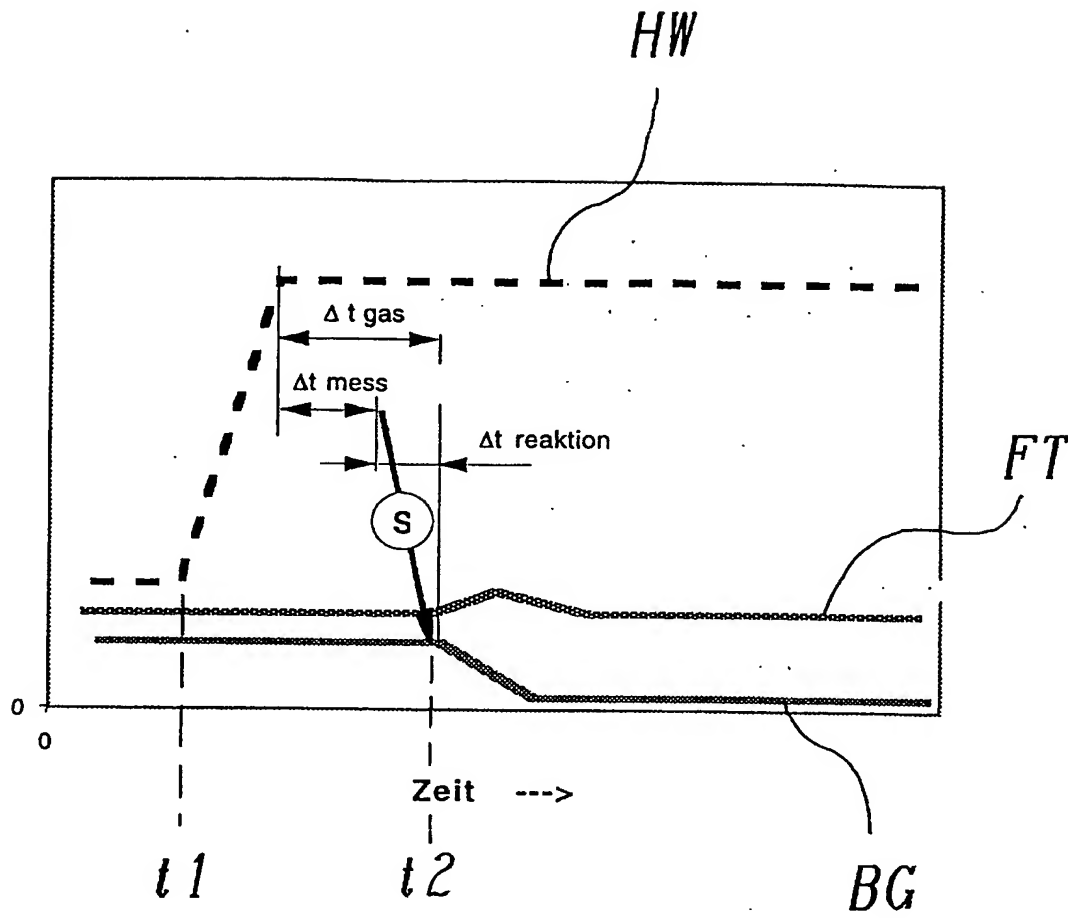


Fig. 2